

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Julija Križanac



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

KOLORIMETRIJSKA SVOJSTVA INKJET I ELEKTROFOTOGRAFSKOG ISPISA

Mentor:

doc.dr.sc. Ante Poljićak

Student:

Julija Križanac

Zagreb, 2015.

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je kolorimetrijska usporedba testne karte reproducirane ink-jet i elektrofotografskim uređajem. Određen je gamut, odnosno raspon boje koje svaki uređaj može reproducirati te je izračunat volumen gamuta. Također, određena je dominantna valna duljina, čistoća pobude i luminancija primarnih i sekundarnih bojila za pojedini ispis. Kolorimetrijske vrijednosti reprodukcijских polja prikazane su u $L^*a^*b^*$ dijagramu i te je utvrđena razlika primarnih i sekundarnih bojila ink jeta u odnosu na elektrofotografski ispis. Očekivani rezultati su bili veća čistoća pobude primarnih i sekundarnih bojila reproduciranih ink-jet uređajem, što je impliciralo i veći gamut reproduciranih boja u odnosu na elektrofotografski ispis.

KLJUČNE RIJEČI: Kolorimetrija, inkjet, elektrofotografija, $L^*a^*b^*$ dijagram, testna karta

ABSTRACT

Colorimetric comprasion of test targets reproduced with ink-jet and electrographic device was examined. There has been determined gamut or range of colors that each device can reproduce, and volume of gamut. Also, there's been determined dominant wavelenght, hue and the luminace of the primary and secondary colors for each print. Colorimetric's values of reproduced fields are shown in $L^*a^*b^*$ diagram where has been determined difference of primary and secondary colors between inkjet and electrographic printing. Expected results were higher hue of primary and secondary colors reproduced by inkjet device, which has implied bigger gamut of reproduced colors in relation to the electrographic printing.

KEY WORDS: Colorimetry, inkjet, electrophotography, $L^*a^*b^*$ dyagram, test target

SADRŽAJ

1. UVOD	5
2. TEORIJSKI DIO.....	6
2.1. KOLORIMETRIJA I MJERENJE BOJA	6
2.1.1. Mjerenje boja	13
2.2. TEHNIKE ISPISA	14
2.2.1. Kontinuirani inkjet.....	15
2.2.2. Diskontinuirani inkjet.....	16
2.2.2.1. Termalni princip Inkjet otiskivanja.....	17
2.2.2.2. Piezo princip Inkjet otiskivanja.....	17
2.2.2.3. Elektrostatski princip Inkjet otiskivanja.....	18
2.2.3. Elektrofotografija	20
2.2.3.1. Nabijanje tiskovne forme	21
2.2.3.2. Osvjetljavanje tiskovne forme.....	22
2.2.3.3. Obojavanje tiskovne forme tonerom (razvijanje).....	22
2.2.3.4. Prenosanje tonera na tiskovnu podlogu.....	24
2.2.3.5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi	25
2.2.3.6. Čišćenje tiskovne forme	25
2.3. TISKARSKA BOJA	26
2.3.1. Koloranti i vezivo.....	26
2.3.2. Tiskarska boja za inkjet tisak	27
2.3.3. Tiskarska boja za elektrofotografiju.....	28
3. EKSPERIMENTALNI DIO	29
4. REZULTATI I DISKUSIJA.....	31
5. ZAKLJUČAK	35
6. LITERATURA	36

1. UVOD

U današnje doba digitalizacije, digitalni tisak je sveprisutnije rješenje u grafičkoj industriji. Time se otvaraju nova vrata malim nakladama uz nizak ekonomski trošak. Digitalni tisak se vremenom razvijao u dva smjera: *Computer to Press* tehnologiju, koja koristi standardnu tiskovnu formu, te *Computer to Print* tehnologiju, s latentnom tiskovnom formom. Dvije najučestalije vrste ispisa digitalnog tiska bazirane na *Computer to Print* tehnologiji su Inkjet i elektrofotografija. U ovom radu je поближе objašnjena kolorimetrija, princip rada spektrofotometra te CIE XYZ, CIELAB i CIELCH prostori boja. Zatim su opisani osnovni principi rada inkjet i elektrofotografskog ispisa kao i sastav i svojstva bojila koje ove tehnike ispisa koriste. Naposljetku, opisana je metodologija rada s dobivenim rezultatima i zaključkom.

Cilj istraživanja bio je odrediti kolorimetrijska svojstva otisnutih polja testnih karata reproduciranih inkjet i laserskim uređajem. Testne karte tiskane su postupkom elektrofotografije iz LaserJet Pro 4000 color pisača, te postupkom inkjeta iz EPSON STYLUS PRO 3800 pisača.

Korištena je ista vrsta podloge za oba tiska, kako bi se izbjegao utjecaj same podloge na otiske. Mjerenje je vršeno pomoću spektrofotometra na otiscima punog tona četiri primarne boje (CMYK) te na otiscima sekundarnih boja (RGB). Kolorimterijske vrijednosti prikazane su u $L^*a^*b^*$ dijagramu, a usporedba dobivenih rezultata mjerenja je u skladu s očekivanim; boje reproducirane ink jet ispisom su zasićenije u odnosu na laserski ispis, što rezultira i njihovim kvalitetnijim otiskom.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. KOLORIMETRIJA I MJERENJE BOJA

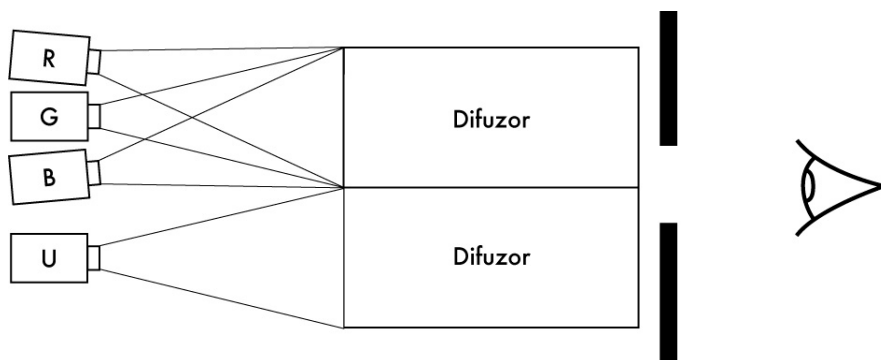
Pojam boje definiran je na više načina. U grafičkoj tehnologiji, boja je svojstvo površine nekog objekta osvjetljenog određenim izvorom svjetlosti. U ljudskom oku boja je percepcija reflektiranog zračenja u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra, od 380 do 750 nm valne duljine. Doživljaj boje različit je za svakog pojedinca, a sama percepcija boje nekog objekta definirana je pomoću tri faktora: načinom osvjetljavanja (izvorom svjetla), optičkim svojstvom samog objekta te doživljajem ljudskog oka. [1]

Kolorimetrija kvantizira faktore potrebne za opis boje te uvodi koncepte standardnog osvjetljenja i standardnog promatrača što je dovelo do razvoja različitih sustava boja kao što su RGB, XYZ, LAB i LCH sustavi.

1931. godine CIE komisija (*Commission Internationale de l'Eclairage*) je objavila kolorimetrijski sustav koji je prihvaćen kao standard sve do danas. Princip koji je omogućio razvoj kolorimetrije je aditivno miješanje boje. Svaki podražaj može se dobiti aditivnim miješanjem tri primara poznatih kao tropodražajne vrijednosti. [2]

Aditivnim zbrajanjem tri snopa svjetlosti, crvenog, zelenog i plavog moguće je ostvariti širok raspon različitih boja. Razlog tome je poklapanje pojedinih čunjića na mrežnici oka s crvenim, zelenim i plavim dijelom vidljivog spektra pa ovisno o stupnju pobuđenosti, promatrač doživljava određenu boju.

Još 1920. godine, prije nego je CIE dala preporuku za kolorimetrijski sustav, W. David Wright i John Guild testirali su ljudski vid kako bi definirali boju koju ljudsko oko doživljava [3]. Koristili su bipartitni kolorimetar koji ima polje podjeljeno u dva dijela, dio sa svjetlosnim podražajem i dio s tropodražajnim vrijednostima (slika 1). Promatrač podešava svaku vrijednost dok više ne bude u stanju razlikovati polja.



Slika 1. Bipartitni kolorimetar

CIE sustav kakav danas znamo je baziran upravo na originalnim Wrightovim i Guildovim funkcijama usklađenih boja koje su transformirane u primare označene s X, Y i Z. [4]

Slika 2 prikazuje dijagram kromatičnosti gdje je cijelo obojeno područje CIE XYZ prostor boja, odnosno cijeli prostor boja koji standardni promatrač može percipirati. Ovaj prostor je matematička domena ljudskog doživljaja što se tiče boja. Na rubovima koji zatvaraju trokut su maksimumi zasićenosti crvene, zelene i plave.

X, Y i Z vrijednosti su dobivene matematički iz RGB kako bi se izbjegli negativni brojevi i zovu se Tristimulus vrijednosti ili tropodražajne vrijednosti (slika 2).

Y koeficijent proporcionalan je svjetlini, a X i Z koeficijenti nisu proporcionalni niti s jednom perceptualnom karakteristikom boje. Zbog toga je važno izvesti jedinice koje su vezane za perceptualne karakteristike boje. Funkcije usklađivanja boje poznate su za pojedine valne duljine i označene sa $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$.

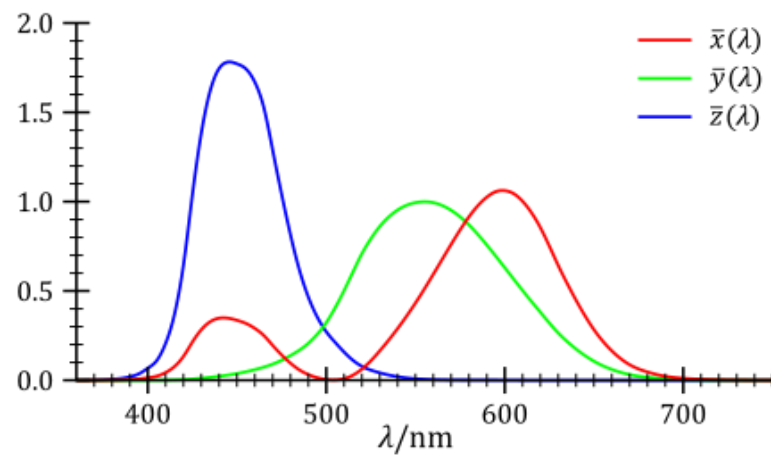
$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (1)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} = 1 - x - y \quad (3)$$

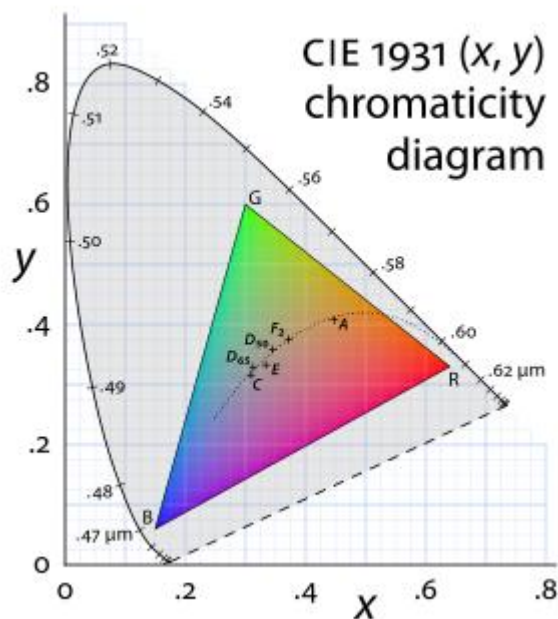
Iz navedenih izraza, jasno je vidljivo da će suma koordinata iznositi 1, gdje x , y i z predstavljaju koordinate kromatičnosti.

$$x + y + z = 1 \quad (4)$$



Slika 2. CIE XYZ

Može se zaključiti da osnovu kolorimetrije čini trikromatska teorija tzv. tristumulsne vrijednosti. Na temelju teorije tih triju boja, moguće je prikazati sve boje u dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu ako svaka točka predstavlja određenu boju, na čemu se i zasniva dijagram kromatičnosti(x,y dijagram). U središtu dijagrama nalazi se točka akromatičnosti, odnosno nebojena točka E (slika 3).



Slika 3. Dijagram kromatičnosti (x, y dijagram)

Atributi koji uže definiraju boju su ton boje (hue), zasićenje (saturation) i svjetlina (lightness), a izraženi su u CIE LAB trodimenzionalnom prostoru boja [5]. U dijagramu kromatičnosti nedostaje svjetlina, a ton i zasićenje nisu potpuno linearno raspoređeni. CIE je stoga preporučila CIE LAB trodimenzionalni prostor boja kao standard.

$L^*a^*b^*$ i $L^*C^*h^\circ$ su trodimenzionalni prostori boja koji imaju veoma sličnu strukturu te će pobliže biti objašnjeni u daljnjem tekstu.

L*a*b* sustav također se naziva i CIELAB sustavom i najprihvaćeniji je sustav za brojčano vrednovanje boja. Predstavlja nelinearnu transformaciju CIEXYZ sustava. Može se prikazati kao cilindrični koordinatni sustav u kojem os cilindra, L* označava svjetlinu, u rasponu od 0% do 100%, a vrijednosti a* i b* predstavljaju odgovarajuće koordinate boje. Vrijednost a* je od zelene (negativna) do crvene (pozitivna) osi, a vrijednost b* je od plave (negativna) do žute (pozitivna) osi (slika 3). [6]

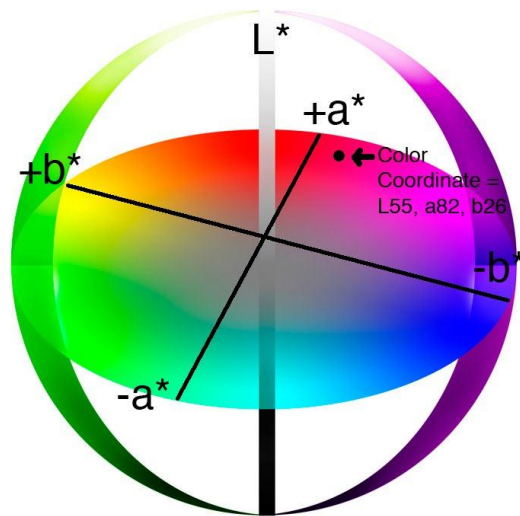
Transformacija tropodražajnih vrijednosti iz XYZ u L*a*b* koordinate dana je izrazima:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (5)$$

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16\frac{Y}{Y_n}\right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$b^* = 500\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 116\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right] \quad (7)$$

Gdje su X_n , Y_n i Z_n tristimulusne vrijednosti za korišten izvor svjetla.



Slika 4. CIE $L^*a^*b^*$ model boja

Sustav koji je također usko povezan s kolorimetrijskim vrijednostima CIE sustava je $L^*C^*h^\circ$ sustav boja. Atributi koji definiraju ovaj sustav boja su svjetlina (Lightness) u rasponu od 0% do 100%, zasićenost (Chroma) u rasponu od -60 do +60, a izračunava se kao vektorska udaljenost od središta dijagrama do mjerne boje te kut tona boje (Hue) u rasponu od 0° do 360° gdje kut 0° označava crvenu boju, kut 90° žutu boju, kut 180° zelenu boju, a kut 270° ljubičasto-plavu boju (slika 4). [6]

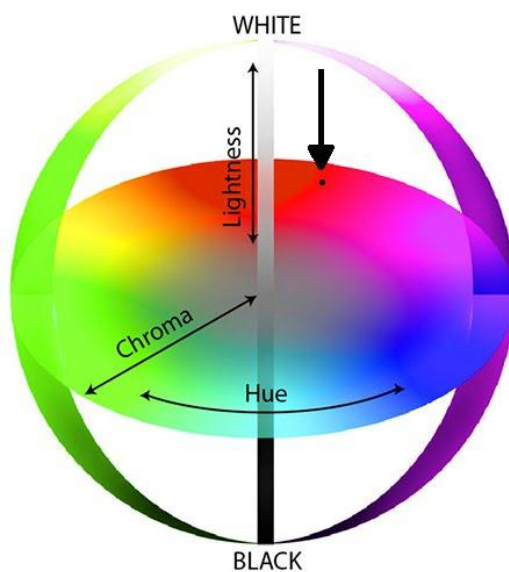
Transformacija tropodražajnih vrijednosti u $L^*C^*h^\circ$ koordinate dana je izrazima:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (8)$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$h^\circ = \arctan \frac{a^*}{b^*} = \arctan \left[\frac{500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right]}{500\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 116\left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right]} \right] \quad (10)$$

Gdje su X_n , Y_n i Z_n tristimulusne vrijednosti za korišten izvor svjetla. [7]



Slika 5. CIE $L^*a^*b^*$ model boja

2.1.1. Mjerenje boja

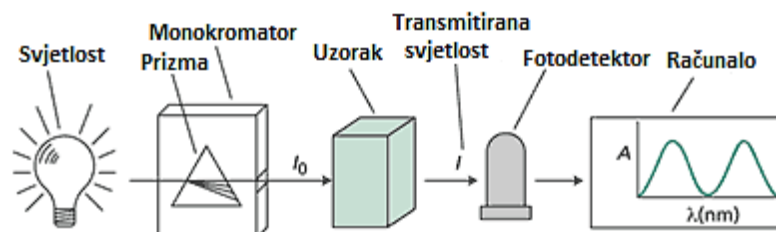
Jedan od objektivnih načina mjerenja boje je korištenje difuzno-reflektivne spektrofotometrije.

Preciznim spektrofotometrijskim metodama određujemo dominantne valne duljine, zasićenje i svjetlinu obojenja.

Spektrofotometar je uređaj za analizu spektra elektromagnetskog zračenja. Kao što slika 6 pokazuje, spektrofotometar se sastoji od izvora zračenja, monokromatora i detekora. Radi na principu da iz bijelog svjetla pomoću optičke prizme izdvoji valne duljine kojima se osvjetljava ispitivani uzorak boje. prije početka mjerenja uređaj se kalibrira pomoću crnog ili bijelog standarda, a kao rezultat mjerenja dobiva se spektrofotometrijska krivulja koja prikazuje zabilježene rezultate intenziteta zračenja koje je uzorak reflektirao ovisno o valnoj duljini.

Mjerenje može biti na transparentnim uzorcima (filmu) gdje mjerimo transmintanciju ili netransparentnim uzorcima (fotokopirni papir) kad mjerimo reflektanciju. Reflektanciju i transmintaciju uglavnom mjerimo za tri osnovne boje, crvenu, zelenu i plavu gdje vrijednosti reflektancija predstavljaju tristimulusne vrijednosti X, Y i Z .

Postupak ispitivanja započinje rastavljanjem bijelog svjetla pomoću monokromatora na pojedinačne valne duljine ili na intervale valnih duljina. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije koja ga pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju na način da pri određenoj valnoj duljini očitavaju faktor refleksije ili transmisije u odnosu na bijeli standard. [8]



Slika 6. Princip rada spektrofotometra

2.2.TEHNIKE ISPISA

Potreba za digitalnim tehnikama ispisa rasla je proporcionalno s razvojem elektroničkih izvora informacija. Digitalni tisak se vremenom razvio u dva smjera: *Computer to print* tehnologija i *Computer To Press* tehnologija koja je dosta slična konvencionalnom načinu otiskivanja.

Drugi naziv za *Computer to print* tehnologiju je *Non Impact Printing* (NIP) tehnologija zbog male sile pritiska u dodirnoj zoni.

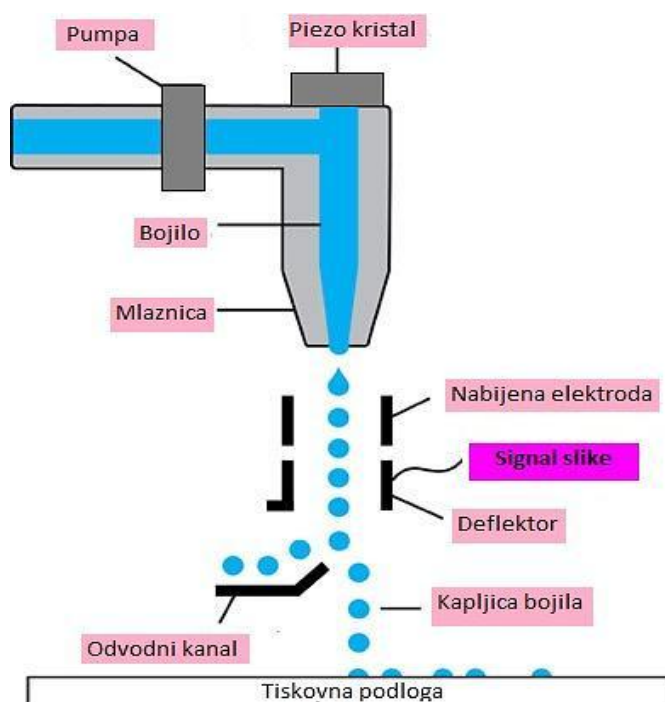
Tehnike ispisa koje se najčešće koriste, bazirane na NIP tehnologiji, su elektrofotografija i Ink Jet ispis. [9]

Ink jet ispis je najraširenija tehnika digitalnog tiska zbog mnogih prednosti kao što su jednostavna konstrukcija stroja, višebojna reprodukcija, niske cijene uređaja, kratko vrijeme sušenja otiska i sl. Ink jet radi na principu prijenosa bojila pomoću mlaznica na tiskovnu podlogu bez dodira ispisne glave i podloge kao što je slučaj u većini tiskarskih tehnika. Razlikujemo dvije vrste ispisa Ink Jet tehnologije; Ink jet s kontinuiranim mlazom bojila te Ink jet s diskontinuiranim mlazom bojila.

Ink jet s kontinuiranim mlazom bojila funkcionira na principu binarnog skretanja kapljica boje i višestrukog skretanja kapljica boje. Dok se ink jet s diskontinuiranim mlazom bojila dijeli na termalni princip, piezo princip i elektrostatski princip otiskivanja. [10]

2.2.1. Kontinuirani inkjet

Kontinuirani inkjet je tehnologija ispisa koja se uvelike koristi, prije svega zbog velikih brzina stroja i mogućnosti ispisa na neravne površine unatoč niskoj razlučivosti (70 dpi) i korištenju organskih otapala. Tijekom otiskivanja dolazi do neprestanog izbacivanja kapljica bojila kroz mlaznicu prema tiskovnoj podlozi. Princip rada temelji se na stvaranju viskokofrekventnog mlaza od 1MHz. Kapljice nastaju odvajanjem od mlaza bojila gdje se neposredno prije odvajanja nabijaju pomoću elektrode. Nabijene kapljice se pod utjecajem visokog napona mijenjaju smjer i odlaze u odvodni kanal, dok nenabijene kapljice padaju na tiskovnu podlogu (slika 7). Ovakav oblik inkjeta naziva se jednobitno otiskivanje. Također, postoji i višebitno otiskivanje gdje se kapljice nabijaju različitom jačinom naboja dok mlaz može reproducirati 16 različitih pozicija. Za razliku od jednobitnog inkjeta, u višebitnom otiskivanju na tiskovnu podlogu padaju nenabijene kapljice. [10]



Slika 7. Princip rada kontinuiranog inkjeta

2.2.2. Diskontinuirani inkjet

Kod diskontinuiranog inkjeta (DoD – eng. *Drop on Demand*), kao što i sama riječ kaže, mlaznice ne istiskuju kapljice bojila konstantno već na zatjev, odnosno prema potrebi (slika 8). Glave pisača imaju veliki broj mlaznica zbog kojih se ova tehnologija često naziva i visokorezolucijska. Mlaznice istiskuju boju piezo ili termalnom tehnologijom. [10]



Slika 8. Princip rada diskontinuiranog inkjeta

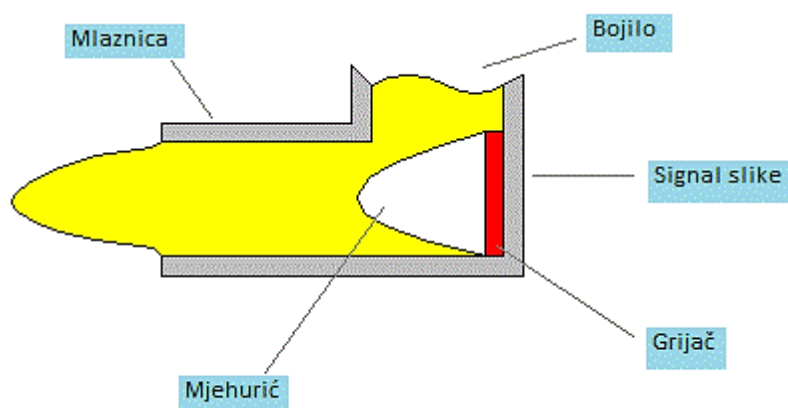
Ovisno o poremećaju koji stvara kapljice, diskontinuirani inkjet tisak se dijeli na:

- Termalni princip otiskivanja
- Piezo princip otiskivanja
- Elektrostatski princip otiskivanja

2.2.2.1. Termalni princip Inkjet otiskivanja

Termalni princip otiskivanja se temelji stvaranju kapljice brzim zagrijavanjem termalnog grijača.

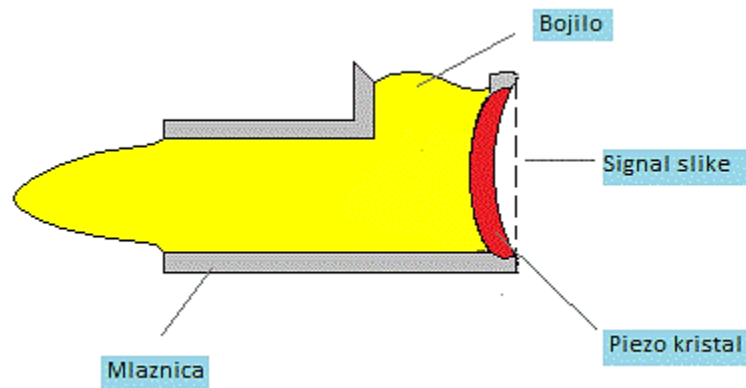
Dolazi do ključanja bojila koje ispunjava komoru. Uzrok ključanja je grijač zagrijan na temperaturi od 350 °C kojim upravljaju strujni impulsi, a smješten je neposredno iza otvora glave. Kao što se uočava na slici 9, tijekom ključanja se stvara mjehurić pare koja pod utjecajem tlaka kroz mlaznicu istiskuje kapljicu bojila. Veličina formirane kapljice proporcionalna je veličini mjehurića, odnosno temperaturi grijača. Pri hlađenju grijača mjehurić nestaje, a kapljica se odvaja te kapilarna sila uvlači novu količinu bojila u komoru. Brzina ponajljanja je veća od 100 000 kapljica u sekundi. [11]



Slika 9. Termalni inkjet

2.2.2.2. Piezo princip Inkjet otiskivanja

Kod piezo tehnologije kapljica se formira mehaničkom deformacijom mlazne komore pomoću piezo kristala (slika 10). Piezo kristal pod djelovanjem napona mijenja volumen, a samim time dolazi do promjene volumena komore. Pri povratku piezo kristala u prvobitni oblik, dolazi do istiskivanja bojila kroz mlaznicu. Istisnute kapljice su jednakog volumena koji ovisi o vrsti deformacije. [12]

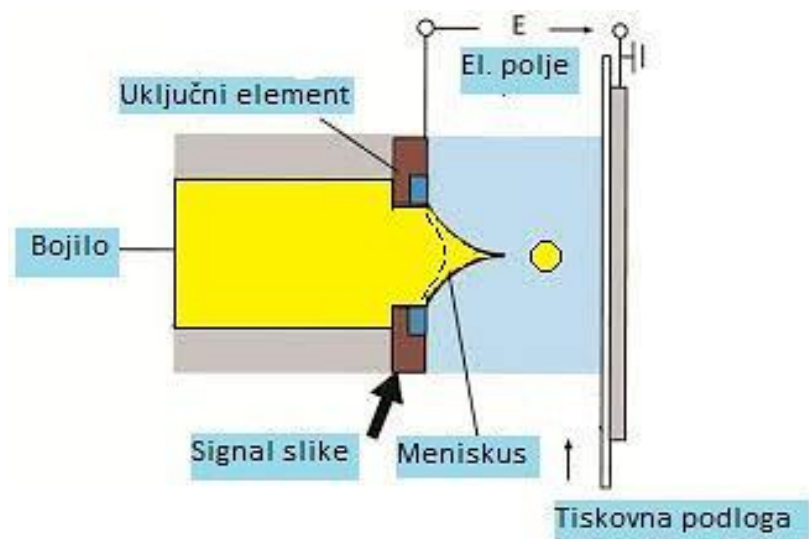


Slika 10. Piezo inkjet

2.2.2.3. Elektrostatski princip Inkjet otiskivanja

Kod elektrostatskog Inkjeta, kapljice bojila nastaju uslijed djelovanja napona od strane vršne elektrode (slika 11). Kroz električno polje koje se nalazi između mlaznica i tiskovne podloge, pod djelovanjem impulsa kreću se kapljice bojila. Aktiviranjem električne struje dolazi do oslobađanja kapljice. Što je veća struja, kapljica će biti veća. Postoji nekoliko tipova elektrostatskog inkjeta koji se međusobno razlikuju po konstrukciji:

- Taylorov efekt
- S kontrolom prstenastog grijača
- Mist elektrostatski inkjet [13]



Slika 11. Elektrostatski inkjet

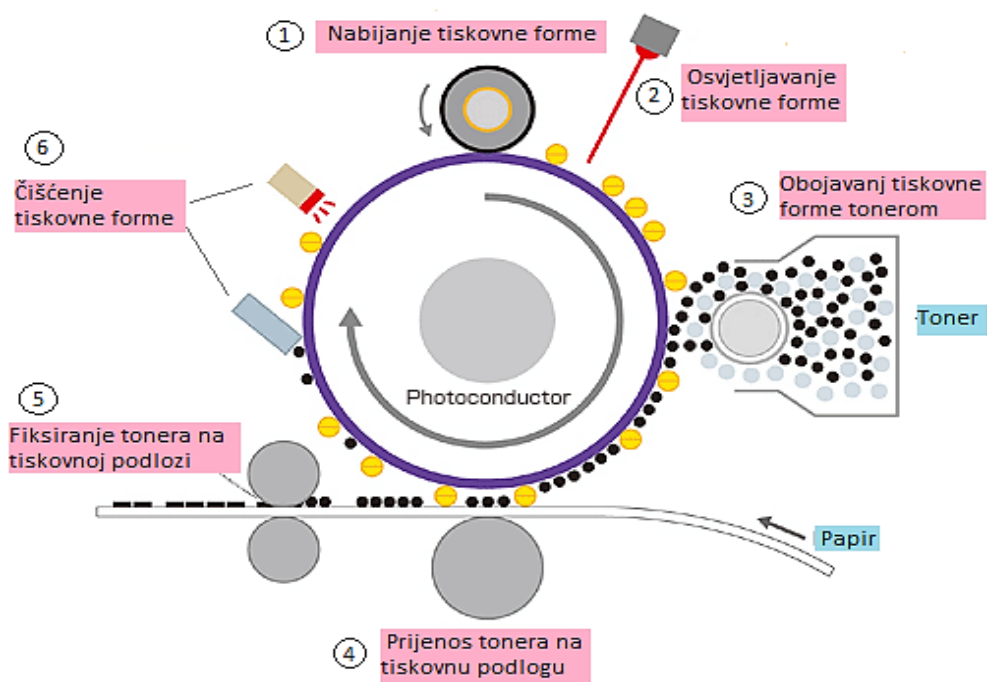
2.2.3. Elektrofotografija

Elektrofotografija je najraširenija tehnika digitalnog tiska s promjenjivom tiskovnom formom, koja se poslije svakog otiskivanja ponovo izrađuje. Osnovni princip elektrofotografije se temelji na fotoelektričnom efektu gdje pod utjecajem elektromagnetskog zračenja na poluvodičke ploče dolazi do izbijanja elektrona iz metalnih rešetki.

Ključnu ulogu ima fotoreceptor koji stvara latentnu sliku iz optičke slike, koja se kasnije transformira u vidljivu tonersku sliku. [14]

Elektrofotografija je kompleksan proces koji se provodi kroz šest koraka (slika 12):

1. Nabijanje tiskovne forme
2. Osvjetljavanje tiskovne forme
3. Obojavanje tiskovne forme tonerom
4. Prenošnje tonera na tiskovnu podlogu
5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi
6. Čišćenje tiskovne forme od ostataka tonera.



Slika 12. Faze rada elektrofotografskog procesa

2.2.3.1. Nabijanje tiskovne forme

Svaki elektrofotografski proces započinje stvaranjem kontroliranog električnog potencijala na fotokonduktorskoj površini. Ovisno je li elektrofotografski proces direktan ili indirektan razlikuje se pozitivno i negativno nabijanje. Kod pozitivnog nabijanja fotokonduktorski bubanj rotira stalnom brzinom pri čemu je izložen djelovanju korotrona ili dikotrona.

Kod negativskog nabijanja, na površini fotokonduktora se stvaraju negativni nosioci naboja. Uređaj koji se koristi za negativno nabijanje naziva se skorotron te se upotrebljava u indirektnom procesu elektrofotografije. [14]

2.2.3.2. Osvjetljavanje tiskovne forme

Osvjetljavanje tiskovne forme je proces gdje se na fotokonduktoru originalni podaci direktno projiciraju pri čemu se naponi uglavnom neutraliziraju. Ovisno da li je izvršeno negativno ili pozitivno nabijanje, postoji negativsko i pozitivsko osvjetljavanje. Ukoliko je fotokonduktorska površina negativno nabijena, dolazi do pozitivnog osvjetljavanja gdje su svjetlosti izloženi budući tiskovni elementi. Ako je fotokonduktorska površina pozitivno nabijena, onda se radi negativno osvjetljavanje. Kod pozitivskog osvjetljavanja intenzitet laserskog zračenja se može podešavati. Time je u fazi razvijanja omogućena različita gustoća obojenja koja rezultira kvalitetnom rasterskom reprodukcijom. Kod negativskog osvjetljavanja, neosvjetljena površina se ne može nijansirati, a osvjetljeni dio fotokonduktorske površine je veoma velik. Stoga je ovakav princip osvjetljavanja pogodan za reprodukciju jednostavnih grafičkih aplikacija. [14]

2.2.3.3. Obojavanje tiskovne forme tonerom (razvijanje)

Da bi virtualna tiskovna forma postala vidljiva, potrebno je na nju nanijeti specijalizirane čestice koje su prilagođene za prenošenje na tiskovnu podlogu. Takve čestice nazvane su toneri i najčešće su praškastog oblika, ali mogu biti i tekućine. Ovisno o agregatnom stanju tonera, elektrofotografske procese dijelimo na:

- I. Elektrofotografiju s praškastim tonerima (Xerografija)
- II. Elektrofotografiju s tekućim tonerima

I. Elektrofotografija s praškastim tonerima (Xerografija)

Xerografiju definira jednokomponentno i dvokomponentno razvijanje.

Jednokomponentno razvijanje primjenjuje se kod elektrofotografskih strojeva koji imaju negativno nabijenu fotoreceptorsku površinu. Provodi se na dva načina; razvijačkom jedinicom koja sadrži razvijački i permanentni valjak te razvijačkom jedinicom koja sadrži razvijački i tonerski valjak. Debljina nanosa tonera u oba slučaja regulira se razmakom regulacijskog noža od razvijačkog valjka. Razlika ova dva sustava je način provođenja trenja kojim se stvara naboj na površini valjka, dok su konstrukcijski jako slični.

Kod dvokomponentnog razvijanja koristi se dvokomponentni toner načinjen od magnetskih nosivih i tonerske čestice, poznat pod nazivom razvijač. Čestice se u procesu razvijanja međusobno sudaraju pri čemu dolazi do trenja koje uzrokuje triboelektrični naboj. Strojevi koji koriste dvokomponentne čestice imaju fotokonduktore koji u fazi nabijanja imaju jednoličan naboj na površini. [14]

II. Elektrofotografiju s tekućim tonerima

Tekući toner u fazi obojavanja tiskovne forme čini tekućina u kojoj su raspršene pigmentirane čestice negativnog naboja. Toner se nanosi na formiranu latentnu tiskovnu formu pozitivno nabijenim valjkom. U fazi razvijanja, istisnim valjkom se odvajaju pigmentirane čestice od tekućeg nositelja te se na fotokonduktoru reducira ukupna količina tekućeg bojila čime se stvara vrlo tanki nanos na tiskovnim elementima. Pritiskom fotokonduktora o tiskovnu podlogu nastaje otisak. [14]

2.2.3.4. Prenosanje tonera na tiskovnu podlogu

Nakon razvijanja, direktnim ili indirektnim transferom, tonerska slika se prenosi na tiskovnu podlogu.

Pri direktnom transferu tonera, tiskovna podloga i fotokonduktor su u izravnom dodiru. S donje strane tiskovne podloge smješten je transferni uređaj koji omogućuje što učinkovitiji prijenos tonera. Uloga transfernog uređaja je generiranje pozitivno nabijenih iona. Transferni uređaj može biti transferna korona ili transferni valjak. Ukoliko se koristi transferna korona, postiže se beskontaktni prijenos tonera na tiskovnu podlogu, ali je njime moguće prenijeti samo površinski sloj tonerske slike. Upotrebom transfernog valjka ostvaruje se fizički kontakt između fotokonduktorskog bubnja i tiskovne podloge i u odnosu na beskontaktni prijenos postiže se deblji, postojaniji otisak.

Kod indirektnog transfera tonera, ne dolazi do izravnog kontakta tiskovne podloge i fotokonduktora već se toner nanosi naprije na površinu prijenosnog medija koji može biti u obliku lančanog remena ili cilindra presvučenog navlakom.

Silikonska guma lančanog remena prenosi toner pritiskom o tiskovnu podlogu.

Tekuće elektroink bojilo koristi kao prijenosni medij ofsetni cilindar, koji je u osnovi načinjen od grijača i vanjske površine cilindra na kojoj se nalazi gumena navlaka. Vanjska površina cilindra se nabije pozitivnim ionima kako bi se osigurao prijenos bojila s fotokondukotra na ofsetni cilindar, a sama navlaka omogućuje prijenos elektroinka s ofsetnog cilindra na tiskovnu podlogu s tim da mora biti električni provodljiva, fleksibilna i otporna na visoke temperature. Prijenos tonera treba biti gotovo 100% kako bi se spriječilo miješanje boja jer se ista navlaka koristi za sva bojila. [14]

2.2.3.5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi

Fuziranje je proces fiksiranja tonera na tiskovnoj podlozi. Pri samom otiskivanju dolazi do privlačenja elektrostatskih sila čestica tonera i tiskovne podloge, ali i međusobnih Wandervaalsovih sila zbog čega se na tiskovnu podlogu dobro kvalitetno veže samo prvotni sloj tonera, dok je ostatak čestica izložen otiranju. Zbog toga se upotrebljavaju posebni uređaji, za dodatno fiksiranje, koji se nazivaju fuzeri. U današnjoj upotrebi se najčešće koriste fuzerske jedinice koje primjenjuju toplo fuziranje. U toplom fuziranju toner koji je načinjen od polimera, podvrgava se visokoj temperaturi pri čemu postepeno prelazi iz krutine u tekućinu. Kod hladnog fuziranja, toner također mijenja agregatno stanje, ali u ovom slučaju od tekućine nastaje para. [14]

2.2.3.6. Čišćenje tiskovne forme

Nakon otiskivanja u fazi čišćenja tiskovne forme fotokonduktor se priprema za novi postupak oslikavanja. Najprije se briše zaostali napon virtualne tiskovne forme, a potom skida ostatak tonera s fotokonduktora. Kod praškastih tonera, zaostale čestice s fotokonduktora se mehanički skidaju pomoću elastičnog noža, mekane ili magnetske četke. Kod tekućih tonera, zaostale čestice elektroinka se najprije razrijede dodatkom tekućeg nositelja, a zatim se tekući nositelj s otopljenim česticama elektroinka skida poliuretanskim nožem. [14]

2.3. TISKARSKA BOJA

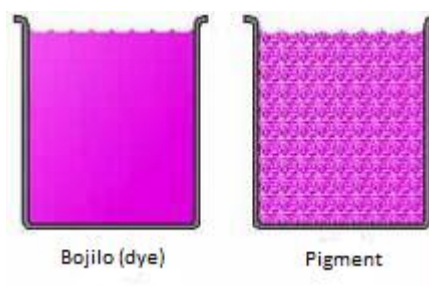
Tiskarska boja je, najjednostavnije rečeno, supstanca koja nosi obojenje te se u procesu otiskivanja, putem tiskarskog stroja, prenosi na tiskovnu podlogu. Temeljne sastavnice tiskarske boje čine koloranti (pigmenti i bojila) i veziva (ulja, smole, otapala). [15]

2.3.1. Koloranti i vezivo

Kolorante tiskarske boje čine pigmenti i bojila (eng. *Dye*) (slika 13). Pigmenti su čestice koje putem refleksije i apsorpcije vidljivog dijela svjetla daju obojenje. Bijeli pigmenti gotovo svu svjetlost reflektiraju, crni apsorbiraju dok obojeni pigmenti dio svjetlosti reflektiraju, a dio apsorbiraju. Čestice pigmenata nisu topive u vezivu, ali dobro s njim moče.

Bojilo (eng. *Dye*) je također tvar koja daje obojenje tiskarskim bojama, ali su u vezivu potpuno topive. Uloga veziva je, dakle, dispergiranje pigmenta i u konačnosti omogućavanje vezanja pigmenta za tiskovnu podlogu.

Tiskarska boja u većini slučajeva sadrži pigmente, zbog bolje svjetlostalnosti, jačeg intenziteta otiska i manjeg razlijevanja, ali su po samoj pripremi zahtjevnije i moraju sadržavati raspršivače kako bi se spriječilo taloženje pigmenta. Izuzetak su Inkjet boje koje u svom sastavu češće sadrže bojila. [16]



Slika 13. Koloranti

2.3.2. Tiskarska boja za inkjet tisak

Idealna tiskarska boja za inkjet tisak trebala bi biti dovoljno tečna da prođe kroz sapnice ispisne glave, a pri tom ih ne začepi niti se sasušiti u njima. Kontinuirani mlaz bojila koristi tekući toner dok kod diskontinuiranog mlaza bojila termalni princip koristi tekući, a elektrostatski i piezo princip taljeno boji. [13]

Tiskarske boje koje koriste današnji inkjet pisači najčešće se dijele na:

- a) Boje na bazi vode
- b) Boje na bazi otapala
- c) Boje na bazi ulja
- d) UV sušeće boje

Boje na bazi vode su načinjene od nosioca obojenja (dye ili pigmenti), vode i dodataka. Ovisno o tome je li nosioci obojena pigment ili bojilo, ove boje se još nazivaju dye bojila ili pigmentirana bojila.

Dye bojila u odnosu na pigmentirana bojila imaju slabiju otpornost prema svjetlu i atmosferskim uvjetima, pri većem nanosu boje dolazi do mrljanja otiska, ali ostvaruju veći gamut na otisku, brže suše te manje začepuju sapnice od pigmentiranih bojila. Važno je još spomenuti UV sušeća bojila koja se koriste za neupojne podloge kao što su staklo, keramika, drvo i sl. Sam naziv potječe zbog polimerizacije boje na otisku kojom započinje proces sušenja pod utjecajem UV zračenja. Prednost ovih boja je brzo sušenje, otpornost na svjetlost i toplinu dok je nedostatak cijena i štetnost zračenja na ljudsko zdravlje. [10]

2.3.3. Tiskarska boja za elektrofotografiju

Da bi virtualna tiskovna forma postala vidljivom, u elektrofotografiji se koriste posebni obojeni materijali koji to omogućuju. Takve obojene čestice se nazivaju toneri i mogu biti u praškastom i tekućem obliku. Praškasti toneri se upotrebljavaju u Xerografiji i načinjeni su od polimera, pigmenata i dodataka.

Čestice tonera se dobivaju toplinskim brušenjem ili procesom polimerizacije. Dijelimo ih na dvokomponentne tonere, jednokomponentne magnetne te jednokomponentne elektrostatičke tonere.

Jednokomponentni toneri se sastoje od poliesterske stiren-akrilne smole (50%), koja se pri višim temperaturama tali i hlađenjem skrućuje, i magnetizirajućeg pigmenta. Dvokomponentni toneri su načinjeni od magnetskih nosećih čestica i tonerskih čestica koje se međusobno sudaraju.

Tekući toneri su načinjeni od pigmenata (5%), mineralnih ulja (95%) i agenasa za povećanje elektrovodljivosti. Proizvodnja tekućih tonera je dosta kompleksnija u odnosu na suhe tonere, što rezultira njihovom rjeđom upotrebom. [9]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni dio se sastojao od mjerenja kvalitete otisaka primarnih i sekundarnih boja te bijele i crne, dobivenih različitim tehnologijama ispisa. Testne karte boja otisnute su direktno iz photoshopa. Karta je rađena na način da su najprije prikazana polja 4 primarne boje, cijana, magente žute i crne. Zatim su prikazana polja sekundarnih boja dobivenih zbrajanjem primarnih. Crvena je dobivena zbrajanjem magente i žute, zelena zbrajanjem cijana i žute te plava dobivena zbrajanjem cijana i magente. Također, osim crnog polja primarnih boja, prikazano je i crno polje dobiveno zbrajanjem cijana, magente i žute.

(slika 14). Prva testna karta ispisana je iz LaserJet Pro 4000 color elektrofotografskog pisača, a druga iz EPSON STYLUS PRO 3800 inkjet pisača.

Eksperimentalni otisci mjereni su na prethodno kalibriranom uređaju. Za kolorimetrijsko mjerenje korišten je Konika Minolta Spectrophotometer CM-3600d spektrofotometar kojim je omogućeno precizno određivanje obojenja. Za svaku boju mjeren je puni otisnuti ton.



Slika 14. Testna karta boja

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Kolorimetrijske vrijednosti otisnutih boja prikazane su u prostornim dijelovima $L^*a^*b^*$ dijagrama (tablica 1, 2).

Promatrajući dobivene vrijednosti na dijagramima, već se vizualno može uočiti razlika zasićenosti pojedine boje dobivene laserskim ispisom u odnosu na inkjet. Uspoređujući položaje boja unutar dijagrama kromatičnosti, primjećuje se da su inkjet boje bliže rubovima dijagrama, odnosno mjestima gdje su zasićenja boja najveća (slika 16). Posebno vidljiva razlika je u položaju plave i zelene boje. Na dijagramu s laserskim bojama, ove boje su blizu bijele točke dijagrama što znači da su jako slabo zasićene (slika 15). To je jasno uočljivo i na samom otisku; razina kvalitete obojenja je znatno lošija u odnosu na inkjet (slika 17, 18).

Nadalje položaj crne boje, dobivene zbrajanjem cijana, magente i žute u inkjet dijagramu gotovo da se preklapa s K crnom bojom dok je kod lasera položaj boje dobivene iz primarnih boja udaljen od stvarne crne. Na otisku to rezultira slabijim zasićenjem otisnutog polja koje više sliči sivoj boji. Položaj bijele je isti na oba dijagrama jer je eksperiment rađen na istom bijelom papiru.

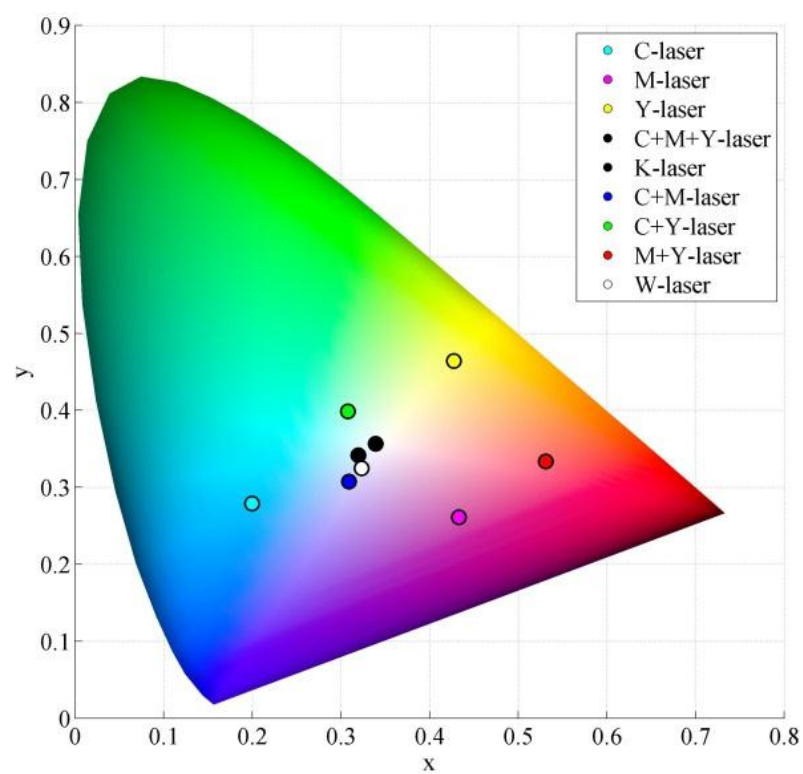
Također, jedna od važnijih vizualnih karakteristika, ali i nedostatak laserskog ispisa u ovom slučaju, je pojava mrljanja boje na rubovima otisnutih polja na podlozi.

Tablica 1. Kolorimetrijske vrijednosti mjerenih polja primarnih i sekundarnih boja za inkjet ispis

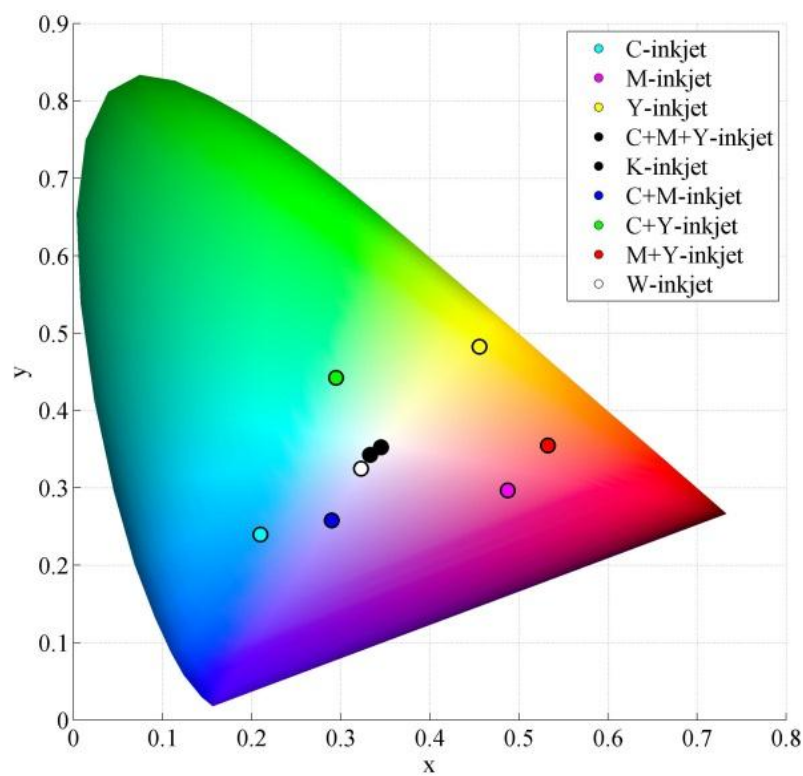
	Data Name	L*(D50)	a*(D50)	b*(D50)	x(D50)	y(D50)
1	C-laser	53,84	-28,41	-37,76	0,1997	0,2788
2	M-laser	50,43	56,75	-14,1	0,4333	0,2613
3	Y-laser	86,54	-6,73	60,81	0,4257	0,4643
4	C+M+Y-laser	36,09	-2,21	-5,62	0,3199	0,3417
5	K-laser	27,19	-0,85	-0,83	0,3392	0,3566
6	C+M-laser	73,82	5,34	-22,78	0,3091	0,3077
7	C+Y-laser	65,5	25,17	5,32	0,3078	0,3990
8	M+Y-laser	50,41	52,08	24,23	0,5313	0,3337
9	W-laser	92,89	4,83	-17,73	0,3232	0,3251

Tablica 2. Kolorimetrijske vrijednosti mjerenih polja primarnih i sekundarnih boja za laserski ispis

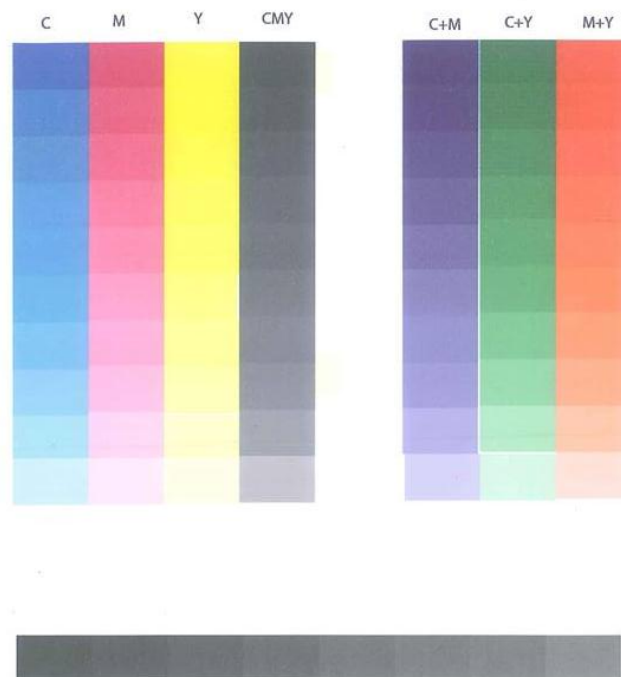
	Data Name	L*(D50)	a*(D50)	b*(D50)	x(D50)	y(D50)
1	C-laser	53,84	-28,41	-37,76	0,1997	0,2788
2	M-laser	50,43	56,75	-14,1	0,4333	0,2613
3	Y-laser	86,54	-6,73	60,81	0,4257	0,4643
4	C+M+Y-laser	36,09	-2,21	-5,62	0,3199	0,3417
5	K-laser	27,19	-0,85	-0,83	0,3392	0,3566
6	C+M-laser	73,82	5,34	-22,78	0,3091	0,3077
7	C+Y-laser	65,5	25,17	5,32	0,3078	0,3990
8	M+Y-laser	50,41	52,08	24,23	0,5313	0,3337
9	W-laser	92,89	4,83	-17,73	0,3232	0,3251



Slika 15. L*a*b* dijagram laser



Slika 16. L*a*b* dijagram inkjet



Slika 17. Otisak dobiven lasersim ispisom



Slika 18. Otisak dobiven inkjet ispisom

5. ZAKLJUČAK

Nakon provedenog istraživanja i dobivenih rezultata može se zaključiti da je kvaliteta otiska dobivenog inkjet tehnologijom ispisa znatno veća u odnosu na laserski ispis. Razlike u obojenju su vizualno uočljive na otisnutim poljima punog tona. Iako je tehnički, u većini slučajeva, laserski ispis brži i produktivniji, inkjet pisači daju kvalitetniji otisak. No izbor je uvijek na korisniku. Ukoliko je korisniku važnija kvaliteta ispisa, odabrat će inkjet ispis. Iako, ne postoji pisano pravilo po kom se može mjeriti koja je tehnologija bolja jer sve ovisi od modela do modela. Obje tehnologije imaju svoje kvalitete koje iz dana u dan napreduju.

6. LITERATURA

- [1] Ohta, Noboru R., Alan R., *Colorimetry: Fundamentals and Applications*, 2006
- [2] Matković D., *Spektralne karakteristike videokamera i i njihovo usklađivanje s primarima zaslona*, 2012 pp:115-122
- [3] Ohno, Yoshi, *CIE Fundamentals for Color Measurements*, 2000
- [4] Schanda J., *Colorimetry: Understanding the CIE System*, 2007 pp: 1-459
- [5] Ohno, Yoshi, *CIE Fundamentals for Color Measurements*, 2000
- [6] Miković M., Zjakić I., Vusić D., *Kolorimetrija u multimedijским komunikacijama*, 2010
- [7] Hugh S. Fairman H. S., Brill M. H., Hemmendinger H., *How the CIE 1931 Color-Matching Functions Were Derived from Wright–Guild Data*, 1996 (FORMULE)
- [8] Parac-Osterman Đ., *Osnove o boji i sustavi vrednovanja*, 2007
- [9] Kipphan, H. *The Handbook of print Media, Technologies and Prouducitons Methods*, 2001
- [10] Pound, S. F. *Inkjet Technology and Product Development Strategies*, 2000
- [11] Yang L., *Ink-Paper Interaction, A study in ink-jet reproduction Department of science and Technology*, Linnkoping University, Norkoping, 2003
- [12] Majnarić I., *Inkjet printing and posibility coating on various materials*, Gorazd Galeb, Vela Luka, 2014
- [13] Majnarić I., *Studija indirektne elektrofotografije*, doktorska disertacija, Grafički fakultet sveučilišta u Zagrebu, 2012

- [14] - Schein L.B., , *Electrophotography and development Physics*, 1992
- [15] Leich R.H., *The printing ink manual*, 4th edition, 2012
- [16] Hilger A., *The colour Science of dye and pigments*, Ltd. Bristol, 1986

